

(α , K $^{+}$)反応による ^{13}C , ^{16}O ハイパー核の研究

著者	遠藤 卓哉
号	45
学位授与番号	1911
URL	http://hdl.handle.net/10097/38921

氏 名・（本 籍）	えん どう たく や 遠 藤 卓 哉
学 位 の 種 類	博 士（理 学）
学 位 記 番 号	理 博 第 1 9 1 1 号
学位授与年月日	平 成 1 4 年 3 月 2 5 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科，専 攻	東北大学大学院理学研究科（博士課程）物理学専攻
学 位 論 文 題 目	(π^+, K^+) 反応による $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ ， $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ ハイパー核の研究
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 橋 本 治 教 授 小 林 俊 雄，鈴 木 厚 人 助教授 田 村 裕 和，棚 橋 誠 治

論 文 目 次

- 1 序論
- 2 実験
- 3 データ解析
- 4 実験結果
- 5 スペクトル構造とフィッティング
- 6 考察
- 7 まとめ

論 文 内 容 要 旨

ハイパー核は、ハイペロン（ Λ ， Σ ， Ξ 等）を構成要素に持つ原子核である。ハイペロンは核子（陽子、中性子）との間にパウリ効果が働かないため、原子核の深部まで入り込むことができる。このことからハイパー核は特有のユニークな構造を持つ。 Λ ハイパー核においては、 Λ が弱い相互作用で崩壊する粒子であり、また Λ 粒子と通常核子の間の相互作用（ ΛN 相互作用）が通常核子の間の相互作用に較べて小さい。その為通常の原子核とは異なり核内深部の 1 粒子軌道の幅は数100keV以下と狭く、これらに相当する準位が観測可能である。また、核内深部に束縛された Λ 粒子は ΛN 相互作用によってホスト側の原子核（芯核）の準位のエネルギーを変化させる。これらのハイパー核構造は、実験的な困難を伴うハイペロン-核子散乱実験に代わるハイペロン・核子相互作用の情報源としても期待されている。

Λ ハイパー核においてはこれまで、原子核乾板実験や、 (K, π^-) ， (π^+, K^+) の反応スペクトロスコピーによって原子核内部を回る Λ の1粒子軌道の情報が得られ、 Λ -原子核間のポテンシャルの深さ（ ~ 30 MeV）が明らかとなった。特に、高エネルギー物理学研究機構(KEK)12GeV陽子シンクロトロンでは、SKSスペクトロメータシステムを用いた (π^+, K^+) 反応による高統計高分解能のスペクトロスコピーによって、 Λ の1粒子軌道の情報を質量数 $A=208$ の領域まで得ることに成功している。さらに、高い精度のデータによ

り $^{12}_{\Lambda}\text{C}$ の芯核励起状態(core-excited state)をはじめ観測している。本研究では、高統計高分解能の (π^+, K^+) スペクトロスコピーを可能にしたSKSスペクトロメータシステムを用いて、 (π^+, K^+) 反応によりp殻領域のハイパー核($^{13}_{\Lambda}\text{C}$, $^{16}_{\Lambda}\text{O}$)の質量スペクトルを測定し、それらの構造を研究した。特に本実験では検出効率、エネルギー軸の絶対値、エネルギー軸の線形性の評価に注意を払い、それぞれについて、 $\pm 8\%$ 、 $\pm 0.36 + \Delta E$ MeV、 ± 0.14 MeVの精度で決定する事ができた。ここで ΔE はエネルギー軸の校正に用いた原子核乾板のデータの誤差である。 $^{13}\text{C}(\pi^+, K^+)^{13}_{\Lambda}\text{C}$ 、 $^{16}\text{O}(\pi^+, K^+)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ の各スペクトルが示すピーク構造を、芯核の構造と Λ の1粒子準位の組合せで解釈し、各状態のエネルギーと断面積を導出し、また、断面積の角度分布を導出した。さらに、これらの結果を歪曲波インパルス近似にもとづく理論計算と比較した。

各スペクトルの概形はこの計算によって良く再現されている。しかしながら、断面積の値は本実験で取した $^{12}\text{C}(\pi^+, K^+)^{12}_{\Lambda}\text{C}$ スペクトルでは実験と理論が良く一致するのに対し、 $^{13}\text{C}(\pi^+, K^+)^{13}_{\Lambda}\text{C}$ スペクトル、 $^{16}\text{O}(\pi^+, K^+)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ スペクトルでは理論値が最大50%程度、実験値を上回っており、 $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ 、 $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ ハイパー核の波動関数の改良が望まれる。また各状態の断面積の角度分布はいずれも前方ピークの分布を示し、このことから、natural-parity状態が強く励起されていることが明らかになった。

$^{13}\text{C}(\pi^+, K^+)^{13}_{\Lambda}\text{C}$ スペクトルからは、 ΛN 相互作用間のスピン・軌道力のうち核子スピンに依存する成分の情報をもつ、 $^{12}\text{C}(2^+) \otimes s^{\Lambda}_{1/2}(J^{\pi}: 3/2^+)$ 状態に相当するピーク[橋本グループ1]及び Λ のp軌道のスピン・軌道スプリッティングで分離する準位的一方である、 $^{12}\text{C}(0^+) \otimes p^{\Lambda}_{3/2}(J^{\pi}: 3/2^-)$ 状態のピークを観測し、そのエネルギーを決定した。これらは最近求められた γ 崩壊のデータとよく合致している。

$^{16}\text{O}(\pi^+, K^+)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ スペクトルにおいては、 $(p_{1/2}^{\Lambda}, p_{3/2}^{\Lambda})$ の1 particle-1 hole状態に対応するピークと、準位の選択性の異なる $^{16}\text{O}(K^-, \pi^-)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ スペクトルで観測されている $(p_{1/2}^{\Lambda}, p_{1/2}^{\Lambda})$ の1 particle-1 hole状態のピークとを比較し、2つのエネルギーの差、すなわち、 $p_{1/2}^{\Lambda} - p_{3/2}^{\Lambda}$ のスピン・軌道スプリッティングの情報をもつこれらの準位のエネルギーの差が 0.03 ± 0.32 MeVと小さいことを示した。

本研究は高統計高分解能の (π^+, K^+) スペクトロスコピーによって、p殻領域の Λ ハイパー核、 $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ 、 $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ の構造についての研究を大きく進展させた。さらに、その中から ΛN 間のスピン・軌道力に関する有効相互作用の情報を得た。今後、 (π^+, K^+) 反応を含めた様々な生成反応のスペクトロスコピーのより一層の分解能、統計の向上によって、 Λ ハイパー核のさらに詳細な構造が明らかにされることが期待される。

論文審査の結果の要旨

通常の原子核は陽子と中性子からなるが、加えて「奇妙さ」量子数をもつハイペロンも構成要素とするハドロン多体系をハイパー核とよぶ。もっとも安定なハイペロンである Λ 粒子を束縛した Λ ハイパー核の研究は近年ようやく分光学的研究が可能となってきた。

本実験は、高エネルギー加速器研究機構における12 GeV陽子シンクロトロンにおいて毎秒100万個の π 中間子を生成してビームとし、超伝導K中間子スペクトロメータ(SKS)によってK中間子を検出することにより行われた。すなわち、 ^{13}C , ^{16}O をターゲットとして(π^+ , K^+)反応により、はじめて $^{13}_{\Lambda}\text{C}$, $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ Λ ハイパー核の高分解能、高統計質量スペクトルを測定しその詳細な解析を行った。本研究は、この結果をもとに、p殻領域の Λ ハイパー核の構造を明らかにするとともに、現在問題となっている Λ 原子核スピン軌道相互作用についての研究を発展させたものである。

実験データの解析にあたって、断面積、基底状態及び励起状態の Λ ハイパー核質量の精度を詳細に検討し、特に、実験期間である6ヶ月にわたって基準として頻繁に測定された $^{12}_{\Lambda}\text{C}$ の断面積が、検出効率等から評価された系統誤差の範囲に収まっていることを確認し、実験データが高い信頼度を持つことを示した。また、本実験で得られた高分解能高統計スペクトルにより、生成されるK中間子の角度分布についてもはじめて導出し、DWIA (Distorted Wave Impulse Approximation) による理論計算との比較を行った。

$^{13}_{\Lambda}\text{C}$ においては、 ^{12}C 原子核を芯として Λ 粒子が弱結合した描像によって、その質量スペクトルを解釈した。角度分布も含めて理論計算との比較を行い、 $^{13}_{\Lambda}\text{C}$ ハイパー核の構造を明らかにした。また、 $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ については、本研究による $^{16}\text{O}(\pi^+, K^+)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ と $^{16}\text{O}(K^-, \pi^-)^{16}_{\Lambda}\text{O}$ 反応による質量スペクトルをそれぞれの反応による生成状態の選択性に注目して比較し、 Λ 粒子—中性子孔状態で作られるスピン軌道スプリッティングの情報を持つ 2^+ と 0^+ 状態のエネルギー差が 0.03 ± 0.32 MeVと小さいことを示し、他のp殻領域のデータ同様スピン軌道スプリッティングが極めて小さいことを導出した。

本研究は、質の高い Λ ハイパー核スペクトルをはじめて測定し、(1)ハイパー核特有の構造についての研究を $^{13}_{\Lambda}\text{C}$, $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ ハイパー核の質の高い質量スペクトルを測定することにより大きく発展させ、(2)また、 $^{16}_{\Lambda}\text{O}$ において問題となっていた、スピン軌道スプリッティングが小さいことを明確に示した。今後の Λ ハイパー核分光実験の展開にとって基礎となる貴重な情報を与えた、優れた研究である。

本論文は、著者が行った詳細な実験的研究に基づくものであり、また、その優れた研究能力、学識によってはじめてまとめられたものである。よって、遠藤卓哉提出の論文は博士(理学)の学位論文として合格と認める。